



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Mari Neissaar

**KÕRGSAGEDUSLIKU POOLI ELEKTROMAGNETVÄLJA
UURIMINE**

**STUDY OF HIGH-FREQUENCY COIL ELECTROMAGNETIC
FIELDS**

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Riho Kägo, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Mari Neissaar		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia (384)	
Pealkiri: Kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja uurimine			
Lehekülgi: 38	Jooniseid: 22	Tabeleid: 6	Lisasid: 3
<p>Osakond: Energeetika</p> <p>Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud, 4.8. Elektrotehnika ja elektroonika.</p> <p>CERCS: T140 Energeetika (T170 Elektroonika, T190 Elektrotehnika)</p> <p>Juhendaja: Riho Kägo, <i>MSc</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017</p>			
<p>Antud bakalaureuse töö vältel monteeriti kõrgsageduslik pool ehk Tesla transformaator. Eelnimetatud seadeldise omaduseks on see, et ta tekitab enda ümber elektromagnetvälja, mida saab rakendada teiste elektriseadmete töös hoidmiseks. Töö käigus uuriti luminofoorlambi süttimist kõrgsagedusliku pooli läheduses ning lambi ennistumist. Samuti mõõdetakse kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja, et veenduda seadme ohutuses inimese tervisele.</p> <p>Töö tulemuste ja arutelu osas esitatakse olulisemad tulemused, viidatakse jätku-uuringute võimalustele ning töö kasutatavusele reaalse projektina.</p>			
Märksõnad: induktiivsus, elektromagnetväli, kõrgsageduslik pool, Tesla trafo.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Mari Neissaar		Speciality: Engineering (384)	
Title: Study of High-Frequency Coil Electromagnetic Fields			
Pages: 38	Figures: 22	Tables: 6	Appendixes: 3
<p>Department: Energy Engineering</p> <p>Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17. Energetic Research, 4.8. Electrical Engineering and Electronics.</p> <p>CERCS: T140 Energy research, T170 Electronics, T190 Electrical engineering</p> <p>Supervisors: Riho Kāgo, <i>MSc</i></p> <p>Place and date: Tartu 2017</p>			
<p>The aim of this Bachelor's Thesis was to construct a high-frequency coil also known as a Tesla coil. The main attribute of this coil is to make an electromagnetic field around it. This field can be used to supply others electrical devices nearby it. During this Thesis experiments with a fluorescent lamp will be conducted, to see if the field can light it up and how far from the coil is this lamp still on. Also there will be experiments with electromagnetic fields detector. The data of measured electromagnetic field around the coil will be collected.</p> <p>The main results will be presented in results and discussion section. There will be references of the opportunities of continuation research and how this thesis may be really usable project for future.</p>			
Keywords: induction, electromagnetic field, high-frequency coil, Tesla coil.			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. MAGNETVÄLI, INDUKTIIVSUS JA TRAFOD	6
1.1. Magnetväli	6
1.1.1. Magnetvälja iseloomustavad suurused	6
1.1.2. Elektrivoolu magnetiline mõju	8
1.1.3. Elektromagnetväljad	10
1.2. Induktiivsus	11
1.2.1. Vastastikune induktiivsus	12
1.2.2. Eneseinduktsioon	14
1.3. Transformaator	15
1.3.1. Kõrgsageduslik pool ehk Tesla trafo	17
1.4. Kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja rakendused	21
1.4.1. Luminofoorlambid	21
2. MATERJALID JA METOODIKA	22
2.1. Kõrgsagedusliku pooli ehitamine	22
3. TULEMUSED JA ARUTELU	28
KOKKUVÕTE	36
KASUTATUD KIRJANDUS	37
SUMMARY	38
LISAD	39
Lisa 1. Mõõteseadme PeakTech 2010DMM andmete väljavõte	40
Lisa 2. Mõõteseadme F. W. Bell ELF Meter Model 4060 andmete väljavõte	41
Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	42

SISSEJUHATUS

Ühiskond ja elu meie ümber muutub ajaga järjest tehnoloogilisemaks. Internet levib läbi õhu, mobiiltelefonidega saab helistada peaaegu igast maailma nurgast, kuid elektriseadmed saavad oma toite kas püsivalt juhtmega või lühiajaliselt akude pealt. On loodud akulaadijaid, mis toimivad ilma juhtmega, kuid nende kasutegur on madal. Antud töö eesmärk on uurida, kuidas ja kas oleks võimalik luminofoorlambi tööle rakendamine ilma ühendusjuhtmega, elektromagnetilise induktsiooninähtuse teel.

Käesoleva töö käigus ehitati kõrgsageduslik pool ja uuriti, kuidas käitub lamp eelnimetatud seadme läheduses. Mõõdeti, kui kaugelt hakkab lamp tööle ning millisel kaugusel kustub. Mõõdeti ka kõrgsagedusliku pooli ümbritseva magnetvälja tugevust ja kaardistati, kuidas see jaotub.

Esimeses peatükis kirjeldatakse, mis on magnetväli, induktsioon ja transformaatorid. Räägitakse kõrgsageduslikest ehk Tesla transformaatoritest ning nende ohutusest. Materjali ja meetodika peatükis kirjeldatakse, kuidas ehitati uuritav katseseade ning kuidas teostati mõõtmised. Kolmandas peatükis tuuakse välja mõõtmistulemused.

Ilmne on tõenäosus, et tulevikus on võimalik ohutult levitada elektrit ilma juhtmeteta. Materjal, mis kulub elektriliinide ehitamiseks on märkimisväärt. Samuti kulub elektriliinide tööshoidmiseks palju maad. Mida suurema pingega elektriliinid, seda enam peab olema liini ümber tühja maad. Kuid kui tulevikus oleks võimalik elektrit levitada nagu raadiolaineid, oleks materjali kulu tunduvalt väiksem ning samuti ka inimeste bioloogiline jalajälg.

1. MAGNETVÄLI, INDUKTIIVSUS JA TRAFIO

1.1. Magnetväli

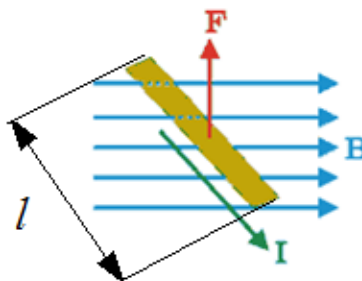
Magnetväli on magneti ruumilise toime piirkond, milles ilmneb teistele magnetilistele kehadele mõjuv jõud. Magnetväli on pidev ja katkematu, teoreetiliselt lõpmatu ning levib ruumis kiirusega $3 \cdot 10^8$ m/s. Magnetvälja kujutatakse graafiliselt jõujoontega. [8]

Selleks, et tekitada magnetvälja, tuleb kasutada elektrienergiat. Kadumisel indutseerib magnetväli elektromotoorjõu ja voolu, mis tähendab, et magnetvälja energia muundub elektrienergiaks. [1]

1.1.1. Magnetvälja iseloomustavad suurused

Suurused, mis iseloomustavad magnetvälja on magnetiline induktsioon, magnetvoog, magnetvälja tugevus ja magnetiline läbitavus.

Magnetiliseks induktsiooniks nimetatakse magnetvälja iseloomustavat suurust, mis arvuliselt on võrdne jõuga, millega magnetväli mõjub juhtmele pikkusega üks meeter, kui seda juhet läbib elektrivool tugevusega üks amper. Seda suurust nimetatakse ka magnetvoo tiheduseks. [8] Olukorda iseloomustav skeem on joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Magnetilist induktsiooni iseloomustav joonis, kus B – magnetiline induktsioon T; l – juhtme pikkus m; I – juhet läbiv vool A; F – juhtmele mõjuv jõud N [6]

Magnetiline induktsioon defineeritakse vooluga juhtmele mõjuva magnetjõu kaudu (valem 1.1). [1]

$$B = \frac{F}{I \cdot l}, \quad (1.1)$$

kus B on magnetiline induktsioon T;
 F – juhtmele mõjuv magnetjõud N;
 I – voolutugevus juhtmes A;
 l – juhtme töötava osa pikkus m.

Magnetilise induktsiooni ja tema vektoriga risti oleva pinna korrutist nimetatakse terminiga magnetvoog, mis arvutatav valemiga 1.2. [1]

$$\Phi = B \cdot S, \quad (1.2)$$

kus Φ on magnetvoog, mis läbib antud pinda Wb;
 B – magnetiline induktsioon T;
 S – antud pind magnetväljas m².

Magnetvoogu Φ silinderpoolis on võimalik leida valemiga 1.3. [5]

$$\Phi = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot n \cdot S}{l}, \quad (1.3.)$$

kus, μ_0 – magnetiline konstant H/m ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m);
 I – pooli läbiv vool A;
 n – mähise keerdude arv;
 S – pooli ristlõike pindala m²;
 l – silinderpooli pikkus m.

Magnetvälja iseloomustav suurus, mis seob magnetvälja induktsiooni ja selle levimist läbi keskkonna ja mis ei sõltu keskkonna magnetilistest omadustest on magnetvälja tugevus [1].

Eelnimetatud suurus on leitav valemiga 1.4.

$$H = \frac{B}{\mu_a}, \quad (1.4)$$

kus H on magnetvälja tugevus A/m;

B – magnetiline induktsioon T;

μ_a – keskkonna absoluutne magnetiline läbitavus H/m.

Magnetiline läbitavus on aine (keskkonna) magnetilisi omadusi iseloomustav suurus ning on leitav valemiga 1.5. [8]

$$\mu_a = \mu \cdot \mu_0, \quad (1.5)$$

kus μ_a on absoluutne magnetiline läbitavus H/m;

μ – keskkonna suhteline magnetiline läbitavus;

μ_0 – magnetiline konstant H/m ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m).

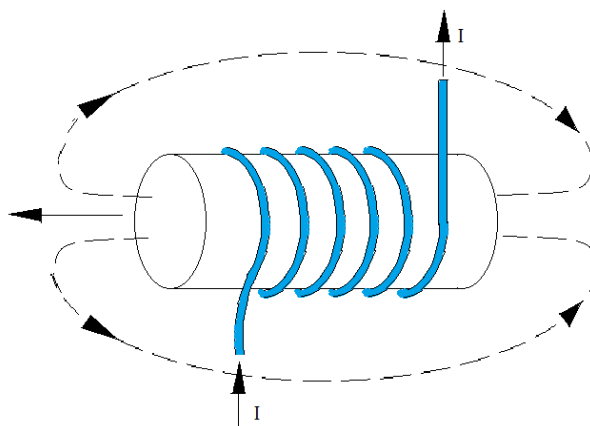
Keskkonna suhteline magnetiline läbitavus μ näitab, mitu korda on magnetvälja tihedus antud keskkonnas suurem kui vaakumis [8]. Ainete magnetiline läbitavus on erinev. Õhu magnetiline läbitavus $\mu \approx 1$ [12].

1.1.2. Elektrivoolu magnetiline mõju

Liikuvat laengut ümbritseb magnetväli, millest järeldub, et elektrivooluga kaasneb alati magnetvälja tekkimine. Voolu suund juhtmes määrab magnetvälja suuna. Kui muutub voolu suund, muutub ka magnetvälja suund. Vooluga juhtme igat punkti ümbritseb kontsentiline magnetväli, mille tugevus ja ulatus sõltub voolu tugevusest juhtmes. Kui väli on mitteferromagnetilises keskkonnas, siis voolu kahekordistumisel muutub elektrivoolust tekkinud magnetväli kaks korda intensiivsemaks. Voolu katkemisel magnetväli kaob. [6]

Kui painutada voolujuhtmed kaheks lähestikuseks keeruks nii, et nende voolud oleksid samasuunalised, siis mõlema keeru magnetvälja jõujooned on samuti samasuunalised ning moodustavad liitudes ühise magnetvälja. Samamoodi ühinevad ka induktiivpooli keerdude

magnetväljad ja moodustavad magnetvälja. Joonisel 1.2 on näidatud, kuidas ümbritseb poolikujulist juhet magnetväli. Kui keerdudel on vahekohad, siis kõrvuti olevate keerdude magnetväljad on suunalt vastupidised ja suuruselt võrdsed. See põhjustab olukorra, kus magnetväljad hävitavad teineteise mõju. [6]



Joonis 1.2. Poolikujulist juhet ümbritsev magnetväli, I - voolutugevus A [6]

Samal põhimõttel, nagu eelmises lõigus kirjeldatud, kujuneb silindrilises traatmähises voolu olemasolul magnetväli, mis sarnaneb püsिमagnetit ümbritseva väljaga. Voolu katkemisel kaob ka magnetväli, mis tähendab, et ainult voolu olemasolul ümbritseb mähist magnetväli. Kuid kui mähis on keritud raudsüdamikule, siis voolu tekkimisel südamik magneetub. Kui südamiku materjaliks valitakse tugeva jääkmagnetismiga teras, siis jääb pooli südamik magnetiks ka peale voolu katkestamist. Sellisel viisil valmistatakse tehislikke püsिमagneteid. Kui aga südamik valmistatakse nõrga jääkmagnetismiga ferromagnetilisest materjalist, siis moodustub elektromagnet, mis avaldab magnetilisi omadusi juhul, kui mähist läbib elektrivool. [6]

Pooli ümbritseva magnetvälja tugevus sõltub pooli läbiva voolu tugevusest, mähise keerdude arvust ja keerdude vahekaugusest. Mida kõrgem on pooli läbiv vool, suurem mähise keerdude arv ning lähemal keerud omavahel, seda tugevam on magnetväli. [6]

1.1.3. Elektromagnetväljad

Elektromagnetväljadeks nimetatakse staatilisi elektri- ning magnetväljasid ja ajas muutuvad elektri-, magnet- ja elektromagnetvälju sagedusega kuni 300 GHz. [17]

Elektriseadmete töö põhineb elektromagnetväljade tekitamisel ja kasutamisel, kuid tihti võib tulla ette olukordi, kui need väljad ulatuvad seadmest välja poole. Sellised juhud kutsuvad esile teistes seadmetes talitlushäireid ja võivad põhjustada ebasoodsaid toimeid inimestele ning teistele elusolenditele. Kui seade tekitab elektromagnetvälja, mis on soovimatu ja teistele seadmetele kahjulik, nimetatakse seda häiringuks, tekkivat välja nimetatakse aga emissiooniks. [9]

Eraldi saab käsitleda elektrivälja ja magnetvälja toimet nii alalis- kui vahelduvpingel, mis on kuni mõnisada hertsi. Nendele põhinedes on rahvusvaheliselt välja töötatud tervishoiunõudeid nende väljade suurimate lubatavate tugevuste kohta. Tavatingimustel inimesed väga tugeva magnetvälja toime alla ei satu. Seda võib tõenäoliselt juhtuda vaid tööstusettevõtetes, kus on kasutusel suure talitusvooluga elektriseadmed või pingealustel elektritöödel olles pingestatud osade läheduses. [9]

Elektrivälja iseloomustamiseks kasutatakse keskmist väljatugevust, mis on elektriliselt pingestatud keha ja maa vahel. Keskmise väljatugevuse mõõtühikuks on volti meetri kohta (V/m). Kuna elektriväli on kahe eri potentsiaaliga pinna vahel ebaühtlane, leitakse selle väärtused mõõtmiste teel. Vahelduv elektriväli võib põhjustada elektrivoolu indutseerumist kudedes ja tekitada häireid koerakkude talitluses. Seetõttu on Rahvusvaheline Kiirguskaitse Liit (*International Radiation Protection Association*) kehtestanud tavaisikutele ja elektritööde läbiviijatele väljatugevuse suurimad väärtused lühiajalisel ja pideval toimel. Välja kestval toimel, ehk 24 tunni vältel, on tavaisikul maksimaalselt lubatavaks väljatugevuseks 5 kV/m ja lühiajalisel toimel 10 kV/m. Kui tegemist on elektritöödega, siis kestva toime aeg on 8 tundi ja lubatav väljatugevus on 10 kV/m, lühiajaliselt on lubatud kuni 30 kV/m. [9]

Kõiki juhte, mida läbib vool, ümbritseb magnetväli. Kui tegemist on alalis-magnetväljaga, siis inimkehas indutseerib vool juhul, kui inimene liigub magnetväljas. Vahelduva magnetvälja puhul indutseerib vool ka siis, kui inimene ei liigu. Mida kõrgem on sagedus,

seda vähem suudab elektromagnetväli inimese kehasse tungida. Kõrgemal sagedusel muutub magnetvälja energia peamiselt soojuseks, kuid madalatel sagedustel võib indutseeritud vool põhjustada rakkude talitlushäireid. [9]

1.2. Induktiivsus

Pooli induktiivsust mõjutavad selle kuju, mõõtmed, keerdude arv ja pooli südamiku (keskkonna) magnetiline läbitavus. [7] Iga pooli induktiivsus on sõltuvuses tema kujust ja võrdeline keerdude arvu ruuduga. Seda põhjustab iga keeru magnetvälja aheldumine ühiseks. Mida suurem on pooli südamiku materjali magnetiline läbitavus, seda suurem on pooli induktiivsus. Kui aga pooli südamikuks suure magnetilise takistusega ja väikese läbitavusega keskkond, näiteks õhk, siis sama voolu juures on teisel juhul induktiivsus väiksem. [6]

Induktiivsuseks nimetatakse juhtme või mähise eneseinduktsiooni suurust. Induktiivsus avaldub voolu muutumisel tekkiva eneseinduktsiooni elektromotoorjõu ja voolu muutumise kiiruse suhtena. [6] Induktiivsuse mõõtühikuks on oomsekund, mida nimetatakse ka henriks. [7] $1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A} = 1 \text{ } \Omega \cdot \text{s}$. Induktiivsus L on leitav valemiga 1.6. [12]

$$L = \frac{e_L}{di/dt}, \quad (1.6.)$$

kus, e_L on voolu muutumisel indutseeritud elektromotoorjõud V;

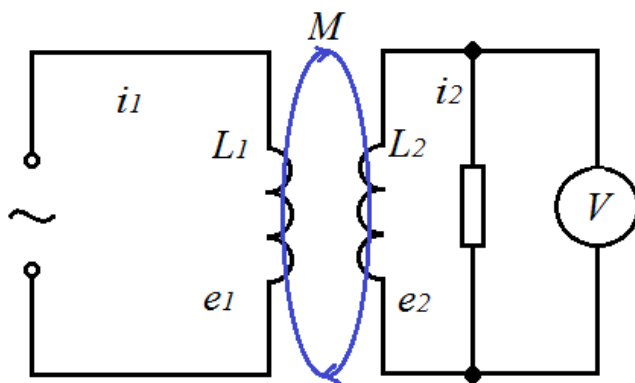
di/dt – voolu muutumise kiirus A/s.

Kui tekib vajadus ahela induktiivsuse vähendamiseks, siis saab seda teha, kui maksimaalselt lähendatakse ahela osad, milles voolud on vastupidiste suundadega. Sellist moodust kasutatakse vahelduvvoolujuhtmete induktiivsuse vähendamiseks väga tugeva voolu puhul. Näiteks kui tegemist on võimsate elektriühjude toitejuhtmetega. Laialdaselt on see moodus kasutusel ka induktiivsusevabade takistite valmistamisel. Kuigi induktiivsust on võimalik vähendada, siis pole võimalik moodustada ahelat, milles induktiivsus täielikult puudub. [4]

Kui aga soovitakse ahela induktiivsust suurendada, siis mähitakse traat nii, et tema kõrvuti asetatud osades on voolud samasuunalised. Sel viisil valmistatakse ka endainduktsioonipoolid. [4]

1.2.1. Vastastikune induktiivsus

Vastastikune induktiivsus ehk ühisinduktiivsus leiab aset kahe vooluringi vahel. Näidatud ka joonisel 1.3. Kui sekundaarvooluringis puudub vool ning primaarvooluringis on vool olemas, siis tekib primaarvooluringi ümbritsev endainduktsiooni voog. Vastastikune induktsiooni voog moodustub, kui primaarvooluringi endainduktsiooni voo jooned ahelduvad sekundaarvooluringiga. [4]



Joonis 1.3. Induktiivselt sidestatud vooluringid, kus i tähistab voolu, L – omainduktiivsust, e – elektromotoorjõudu ja M – mähiste vastastikust induktiivsust [12]

Elektromotoorjõud indutseerub teises vooluringis vaid juhul, kui primaarvooluringis toimub voolu tekkimine või katkemine. Kui vool on püsiv, siis elektromotoorjõud ei indutseeru teise mähisesse. Püsiva vooluga mähis tekitab vastastikkuse induktiivsuse nähtu vaid juhul, kui üht mähist teise suhtes liigutada. Sekundaarvooluringis tekib vastastikkuse induktiivsuse nähtuse tõttu vool siis, kui sekundaarring on suletud. Sekundaarpoolis indutseeriv elektromotoorjõud on vastupidine seda tekitanud elektromotoorjõuga. [6]

Sekundaarmähises tekkiva voolu suunda määratakse Lenzi reegli põhjal. Indutseeritud voolu suund on määratud selliselt, et teda ümbritsev magnetväli mõjub vastassuunaliselt induktsiooninähtust esile kutsuvale magnetväljale. [6]

Seos, mis on esitatud valemis 1.7, võimaldab leida mähiste vastastikkust induktiivsust, mille mõõtühikuks on samuti henri. Selleks, et kahe vooluringi vastastikune induktiivsus võrduks 1 henriga, siis voolu muutumise kiirus on ühes vooluringis 1 A/s ja teises vooluringis indutseeritud elektromotoorjõu suurus on 1 V. [12]

$$M = \frac{e_2}{di_1/dt} = \frac{e_1}{di_2/dt'} \quad (1.7)$$

kus, e on voolu muutumisel indutseeritud elektromotoorjõud V;

di/dt – voolu muutumise kiirus A/s.

Transformaatori tööpõhimõte on saadud vastastikuse induktsiooni nähtuse kaudu. Kuigi kaks vooluringi on ühise magnetvoo kaudu induktiivselt sidestunud, ei aheldu mähiste magnetvood kunagi terves ulatuses. Primaarmähise magnetvoo osa, mis aheldub sekundaarmähisega, nimetatakse aheldusvooks. Mitteahelduvat osa nimetatakse puistevooks. [2] Induktiivpoolide L_1 ja L_2 induktiivset sidestust iseloomustab sidestustegur k . Sidestustegur on arvutatav valemiga 1.8. [12]

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (1.8)$$

kus, M on mähiste vastastikune induktiivsus H;

L_1, L_2 – vastavalt primaar- ja sekundaarpooli induktiivused H.

Teades sidestustegurit on võimalik määrata puistetegur σ , mis leitakse valemiga 1.9. [12]

$$\sigma = 1 - k^2 = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 \cdot L_2} \quad (1.9)$$

kus, k on sidestustegur;

M on mähiste vastastikune induktiivsus H;

L_1, L_2 – vastavalt primaar- ja sekundaarpooli induktiivused H.

Primaar- ja sekundaarringi sidestustugevus oleneb sellest, kui suure osa primaarmähise magnetvoost moodustab aheldusvoog. Kui puistevoog on ülekaalus, siis on tegemist nõrga sidestusega. Vastasel juhul on tegemist jäiga sidestusega. Nõrk sidestus on näiteks õhksüdamikuga poolides kõrgsagedustehnikas, jäik sidestus on aga transformaatorite mähistes, mis on tihedalt ühisele raudsüdamikule keritud. [6]

1.2.2. Eneseinduktsioon

Eneseinduktsiooni nähtus toimub juhul, kui tegemist on muutliku vooluga. Kui juhet läbib vool on muutlik, kutsub see esile magnetvälja muutumise, mis lõikab ka juhet ennast. See põhjustab juhtmes iga voolutugevuse muutumise hetkel eneseinduktsiooni elektromotoorjõu indutseerumise. [6]

Lenzi reegli põhjal on kindlaks määratud järgmine. Kui juhtmes vool kasvab, siis indutseeruv elektromotoorjõud on vastassuunaline algvoolu tekitavale elektromotoorjõule, mis põhjustab voolu tugevnemise takistamist. Kui algvool nõrgeneb, siis tekkiv eneseinduktsiooni elektromotoorjõud on samasuunaline algvoolu tekitava elektromotoorjõuga ning takistab sellega tema muutumist. [6]

Kinnises vooluringis põhjustab eneseinduktsioon elektrilisi nähtusi, mis on võrreldavad keha inertsiga. Eneseinduktsiooni nähtus on olemas kõikides juhtides, kas väiksemal või suuremal määral. Näiteks on antud nähtus eriti suur poolides, kuna mähise keerde ümbritsevad magnetväljad ahelduvad ühiseks magnetväljaks. Kui poolil on raudsüdamik, siis selle suur magnetiline läbitavus põhjustab eneseinduktsiooni suurenemist. [6]

Hetkel, mil alalisvool sisse lülitatakse, tekib juhtme ümber magnetväli. Teatud hetke kasutatakse toiteallikast tulevat energiat magnetvälja tekitamiseks, väike osa sellest läheb voolu tekitamiseks. Kui magnetväli on kujunenud, muutub vool püsivaks. Kuna magnetvälja on salvestunud energia, siis magnetvälja nõrgenemisel või kadumisel võib muunduda see elektrienergiaks. [6]

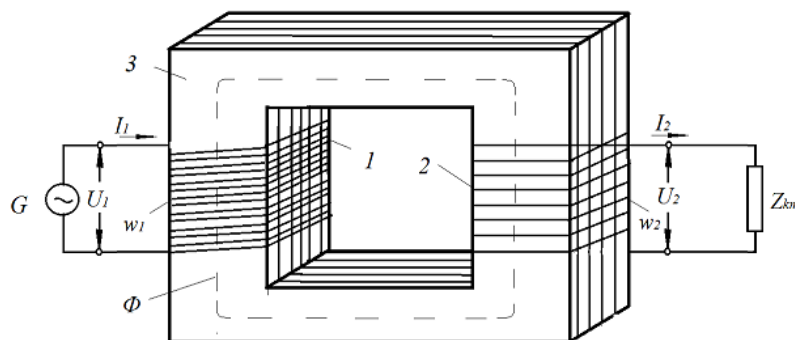
Voolu kasvades juhis tugevneb seda ümbritsev magnetväli ja samuti kasvab sinna salvestuv energia. Väli muutub püsivaks, kui vool ei muutu. Kui kõrvaldada vooluringist, kus on eneseinduktsiooni nähtus, toiteallikas ning pool lühistada, läheb voolu katkemiseks teatud aeg. See on tingitud sellest, et magnetvälja salvestunud energiat kasutatakse voolu hoidmiseks. Kui juhet ümbritsev magnetväli kaob, siis pole ka vooluringis enam voolu. [6]

1.3. Transformaator

Transformaator on seadis, milles kasutatakse vastastikuse induktsooni nähtust elektrienergia kandmiseks ühest vooluringist teise, muutes pinget ja voolu väärtuseid. Trafo mähised on teineteisest isoleeritud, mis tähendab, et nende vahel puudub vahetu elektriline ühendus. [6]

Mähistevahelist energiat kantakse edasi elektromagnetilise induktsooni teel. Kui sagedus f jääb alla 150 Hz, siis valmistatakse südamik 0,35...0,50 mm paksustest elektrotehnilise terase lehtedest. Mida suurem on sagedus, seda õhemat lehtterast kasutatakse. Sagedustel alates 100 000 Hz muutub hüstereesi- ja pöörivoolukadu liiga suureks, seetõttu kõrgsageduslikes trafodes ferromagnetilist südamikku ei kasutata. Sellistel juhtudel kasutatakse kas õhktrafosid või väikese võimsusega trafodes ferriitsüdamikke, mis on väikse magnetilise kaoga ehk teraskaoga magnetdielektrik. Ferriitsüdamikke kasutatakse näiteks arvutusmasinates ja raadiotehnikas. [19]

Transformaatoreid kasutatakse, et muundada kindlate parameetritega (sagedusega, pingega, voolu liigiga) elektrienergiat teistsuguste parameetritega elektrienergiaks. Primaarmähiseks nimetatakse mähist, mis on ühendatud energiaallikaga. Mähist, mis annab energiat tarbijale, nimetatakse aga sekundaarmähiseks. [20] Transformaatoreid on nii ühe- kui mitmefaasilisi ning sekundaarmähiste arv võib olla enam kui üks. [9]



Joonis 1.4. Trafo põhimõtteline ehitus: 1 – primaarmähis; 2 – sekundaarmähis; 3 – ferromagnetiline südamik; G – vahelduvvoolugeneraator; U_1 – primaarpinge; I_1 – primaarvool; Φ – magnetvoog; w_1 – primaarmähise keerdude arv; U_2 – sekundaarpinge; I_2 – sekundaarvool; w_2 – sekundaarmähise keerdude arv; Z_{km} – koormustakisti [19]

Lihtsaim trafo on seade, mis koosneb terassüdamikust ja kahest mähisest. Tema tööpõhimõte seisneb järgnevas. Kui pingestada primaarmähis vahelduvvooluga, siis indutseerib sekundaarmähises sama sagedusega pinge. Ühendades trafo sekundaarmähise tarbijaga, tekib mähisel elektrivool ja trafo sekundaarklemmidel kujuneb sekundaarpinge, mis on vähesel määral koormusest sõltuv. Trafo põhimõtteline skeem on kujutatud joonisel 1.4. Trafo ülekandesuhe sel juhul on ligikaudu võrdne primaar- ja sekundaarmähise keerdude arvu jagatisega. Trafo ülekandesuhteks nimetatakse primaar- ja sekundaarpinge suhet, mis on esitatud valemis 1.10. [9]

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}, \quad (1.10)$$

Kus k on ülekandesuhe;

U_1 – primaarpinge;

U_2 – sekundaarpinge;

w_1 – primaarmähise keerdude arv;

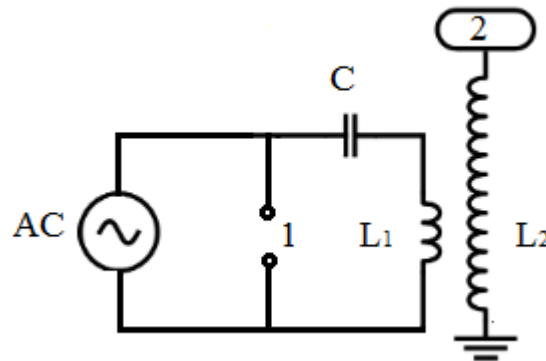
w_2 – sekundaarmähise keerdude arv.

Üldjuhul on trafode kaod väikesed ning nende kasutegur jääb vahemikku 0,98...0,99, suurtel trafodel isegi üle 0,99. Seetõttu vaadeldakse transformaatoreid tihti ideaalse trafona, mis tähendab, et primaar- ja sekundaarmähise näivvõimsused on praktiliselt võrdsed. [2]

Trafode tähtsamateks tunnussuurusteks on nimivõimsus, nimiprimaar- ja nimisekundaarpinge ning nimiprimaar- ja nimisekundaarvool. Trafode nimivõimsuste vahemik on laia haardeline, 0,1 mVA kuni 1000 MVA, mis näitab, et trafosid on võimalik valmistada mikroelektroonikaahelate jaoks ning isegi elektrijaamade võimsatele generaatoritele. [9]

1.3.1. Kõrgsageduslik pool ehk Tesla trafo

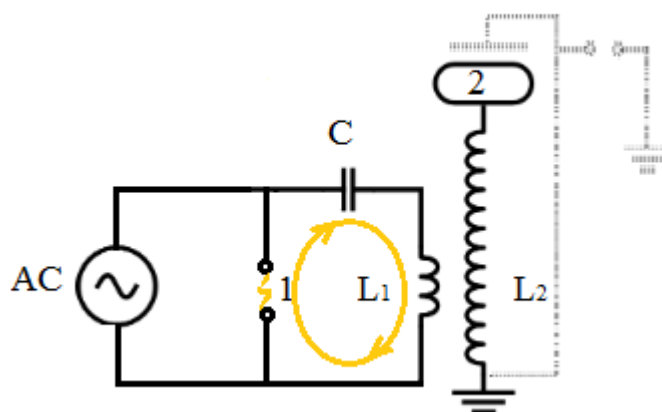
Töö praktilises osas uuritakse Tesla trafot, mille leiutajaks oli Nikolai Tesla. Tesla trafo transformeerib võnkeringi kõrgepingelisi voolusid kõrgemale pingele ja sagedusele. Antud transformaator erineb tavalistest trafodest sellepõolest, et see ei oma raudsüdamikku. [18] Kõrgsagedusliku pooli lihtsustatud elektriskeem on kujutatud joonisel 1.5.



Joonis 1.5. Kõrgsagedusliku pooli ehk Tesla trafo elektriskeem. *AC* – vahelduvvoolu toide; *1* – sädelahendus; *2* – *top-load*; *C* – kõrgepinge kondensaator; *L₁* – primaarmähis; *L₂* – sekundaarmähis. [15]

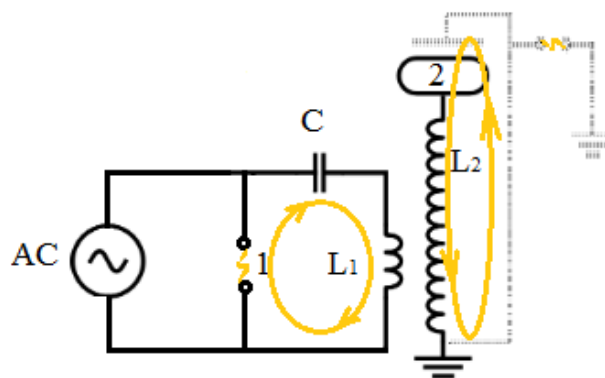
Topload (joonis 1.5 nr 2) on kõrgsagedusliku pooli üks osa, mis ühendatakse sekundaarmähisele, et suurendada sekundaarpoole LC-vooluringi mahtuvust. Samuti on *toploadi* üheks tööülesandeks olla sekundaarpoolil pinnaks, millel tekivad sädelahendused. Kui sekundaarmähisele *toploadi* ei ühendata, siis suurem osa tekkinud energiast hajub sekundaarmähise keerdudes ja kõrgsageduslik pool ei ole efektiivne. *Toploadi* on võimalik ehitada erinevaid, kuid levinumad on ringi- ja toroidikujulised. [15]

Skeemi jaoks tuleb valida kondensaator selliselt, et toiteallikas suudaks kondensaatori laadida 10 ms jooksul. Kui kondensaator on laetud, toimub sädelahendus, mis põhjustab primaarvooluringi sulgemise. Antud olukord on kujutatud ka joonisel 1.6. Sädelahenduse pikkus tuleb sätestada selliselt, et see sulgeks vooluringi, kui pinge kondensaatoril jõuab tippväärtuseni. Nüüd on täielikult laetud kondensaator LC-vooluringis. Resonantssagedusel esinevad pinge ja voolu võnkumised. Tegemist on suurte sagedustega vahemikus (5...400) kHz. [15]



Joonis 1.6. Sädelahenduse (1) tekkimisest põhjustatud primaarvooluring [15]

Primaar- ja sekundaarvooluring on omavahel magnetiliselt ühenduses. Primaarvooluringis toimuvad võnkumised põhjustavad elektromotoorjõu indutseerumist sekundaarvooluringi (joonis 1.7). Kuna primaarvooluringi energia kandub üle sekundaarvooluringile, siis võnkumiste amplituud primaarvooluringis väheneb järkjärgult, sekundaarvooluringis aga võimendub. Energia ülekandumine toimub magnetinduktsiooni nähtuse tõttu. Sidestuskonstant k hoitakse kahe vooluringi vahel teadlikult madalal, vahemikus 0,05...0,20. [15]



Joonis 1.7. Primaarvooluringi võnkumiste indutseerumine ja elektromotoorjõu ülekandumine sekundaarvooluringi [15]

Primaarvooluringi võnkumised käituvad nagu oleks sekundaarvooluringi paigutatud vahelduvvoolu generaator. Sekundaarpinge tõstmiseks peavad mõlemad vooluringid töötama samal resonantssagedusel f , võrrand on esitatud valemiga 1.11. [15]

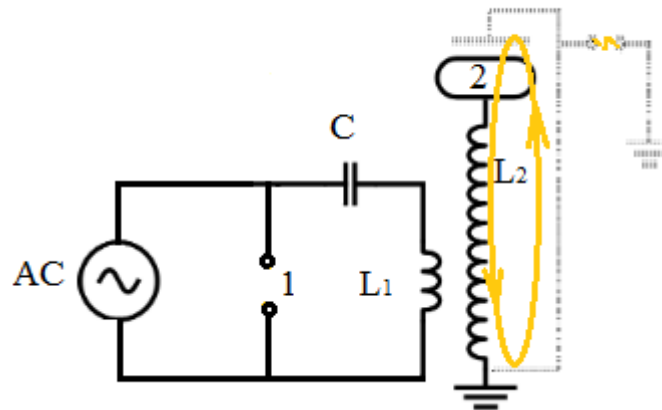
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}}, \quad (1.11)$$

kus f on resonantssagedus Hz;

L – induktiivsus H;

C – mahtuvus F.

Kui vooluringid töötavad samal resonantssagedusel, siis põhjustab see sekundaarpinge tõusu. Sellist olukorda nimetatakse resonantsahelate tõusuks (ingl. k. – *resonant rise*). Kuna pinge tõuseb suurel kiirusel umbes mitme kilovoldini, siis *top-loadil* moodustuvad sädemed. Ideaalsel juhul lõpetaks sädelahendus protsessi ja uus ring hakkaks otsast peale. Kuid selle asemel kandub sekundaarvooluringis olev energia samal viisil nagu enne tagasi primaarvooluringi. Sellist edasi-tagasi energia ülekandmist võib toimuda 3-5 korda, mõnedel juhtudel isegi rohkem. Iga energia ülekandmisega väheneb selle hulk, sest energiat kulub sädelahenduste tekkimisele ja ka komponentide sisetakistuste tõttu. Kuna sädelahendus põhjustab ioniseeritud õhu jälje püsimist mõne hetke, siis uus sädelahendus tekib samasse jälge ja järjest pikemana. Kogu protsess toimub umbes mitusada korda sekundi jooksul. [15]



Joonis 1.8. Energia on suletud sekundaarvooluringi, laeng hajub sädelahenduste kaudu

[15]

Kui peamine sädelahendus on kustunud, siis primaarvooluring on avatud olekus ning energia paikneb sekundaarvooluringis, mida on kujutatud ka joonisel 1.8. Olukord on sarnane *RLC*-vooluringiga. Võnkumised vähenevad eksponentsiaalselt, kui laeng hajub läbi sädemete. Peale seda hakkab uus ring otsast peale. [15]

Kuna eespool kirjeldatud kõrgsagedusliku pooliga ehk Tesla trafoga on juhtunud õnnetusi, kus inimene on kaotanud elu, tuleb olla selle seadmega väga ettevaatlik. Peab arvestama, et Tesla trafo ehitamisega ja katsetamisega kaasnevad kõrged pinged ja voolud, laetud kondensaatorid, avatud juhtmestik, tugevad elektri- ja magnetväljad, indutseeritud vool, tule- ja plahvatusoht, osoon, UV-kiirgus ja tugev müra. [13]

Töötades kõrgsagedusliku pooliga tuleb tagada ruumis värske õhk, kasutada kuulmiskaitset, ja hoiduda otse sädemesse vaatamisest. Tuleb teha kindlaks, et inimesed ega loomad ei satuks pinge all oleva trafo ohtlikusse lähedusse. Tuleb arvestada ka asjaoluga, et trafo võib häirida südamestimulaatori tööd. [13]

Tesla transformaatoriga tööd tehes tuleb kindlasti kinni pidada järgmistest nõuetest [14]:

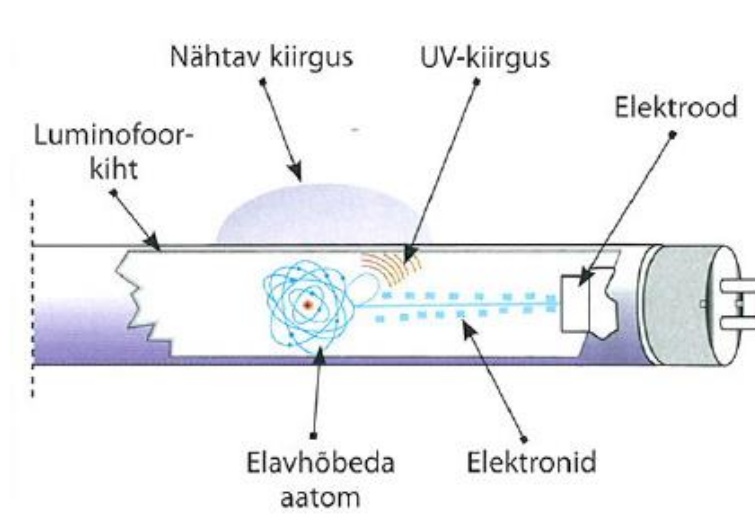
1. Kunagi ei tohi seadistada trafot, mis on pinge all.
2. Kõrgepingel kondensaatorite aeglase tühjenemise tõttu tuleb enne primaarvooluringi ümberseadistamist kindlaks teha, et kondensaatorid poleks laetud.
3. Tuleb veenduda, et seadme metallist osad oleksid korralikult maandatud.
4. Trafost ja selle läheduses olevatest metalldetailidest tuleb ohutus kauguses viibida, kuna sädelahendused võivad ulatuda kaugemale.
5. Trafo tuleb eemale hoida kohtadest, mille läheduses on seisev vesi või kus on potentsiaalse elektrilöögi võimalus.
6. Kuna primaarvooluringi pinged on inimesele eluohtlikud, tuleb see korralikult isoleerida.
7. Kasutada korralikke kaitsmeid, mis suudaksid piirata primaarvooluringi maksimaalset voolu.
8. Veenduda, et ühendused on korralikud ja kindlad. Püstol-liim, isoleerteip ja lisa isolatsioonita juhtmed võivad olla mugavamad, kuid halva ühenduse korral eluohtlikud.
9. Veenduda, et lapsed ja loomad ei satuks trafo lähedusse.

Kui arvestada eelnimetatud ohtudega ja pidada kinni ohutusnõuetest, siis Tesla trafoga töötamine ei muutu eluohtlikuks. Tuleb olla tähelepanelik ja ohuteadlik.

1.4.Kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja rakendused

1.4.1. Luminofoorlambid

Töö käigus monteeritud kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja rakendamiseks kasutati kahe sokliga sirget luminofoorlampi. Selleks, et luminofoor toodaks nähtavat kiirgust, on vaja elektroode, täitegaasi ja luminofoori. Elektrootide ülesanne on kiirata elektrone, mis eralduvad katoodilt temperatuuril ca 900°C. Eraldunud elektronid ioniseerivad lambi täitegaasi aatomeid. Täispingel tekib lambis ultraviolettkiirgus, mille muudab nähtavaks kiirguseks lambi kolvi sisepinnale kantud luminofoorkiht. [11] Luminofoorlambi ehituspõhimõte on toodud joonisel 1.9.



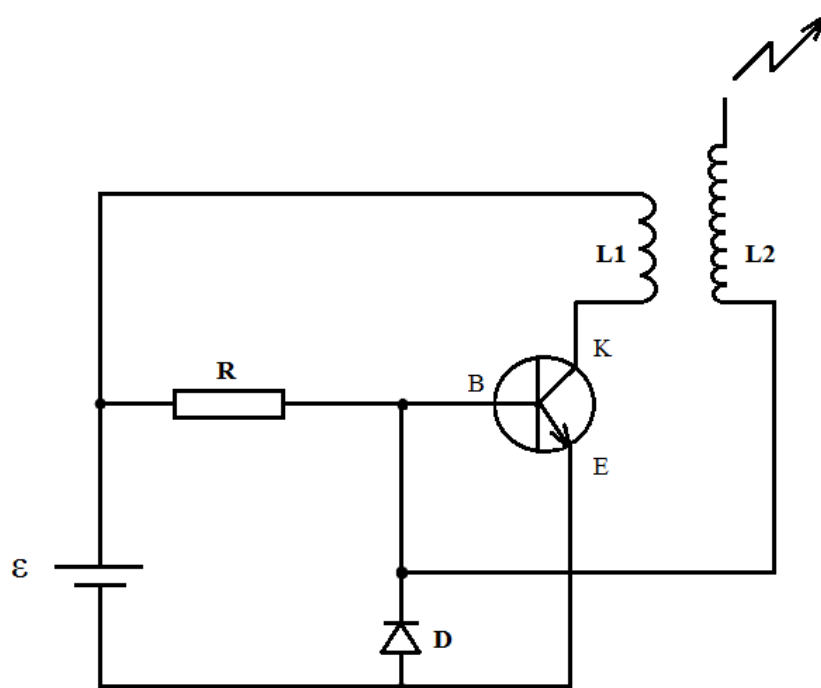
Joonis 1.9. Luminofoorlambi ehituspõhimõte [11]

Luminofoorlambi valgusvoo vähenemist ja ebaühtlust põhjustab lambi põlemisasend. Kui lamp on ettenähtud töötama horisontaalselt, kuid pannakse tööle vertikaalselt, siis lambi lahendustorus jaguneb gaas ebaühtlaselt. Samuti põhjustab ebasobiv asend ka elavhõbeda kontsentreerimist alumise katoodi lähedusse, mille tagajärjel katood põleb kiiremini läbi ning lambi tööiga väheneb. [11]

2. MATERJALID JA METOODIKA

2.1. Kõrgsagedusliku pooli ehitamine

Käesoleva lõputöö käigus monteeriti kõrgsageduslik pool ehk miniatuurne versioon Tesla transformatorist. Seadeldis koosneb alalisvoolu toiteallikast, takistist, transistorist, diodist ja kahest poolist. Joonisel 2.1 on esitatud katseskeem, mille põhjal valmistati Tesla trafo.



Joonis 2.1. Tesla transformatori katseskeem, kus ε patareitoide, R on takisti, D on LED-diod, $L1$ ja $L2$ on vastavalt primaar- ja sekundaarpool ning npn-transistor

Sekundaarmähis keriti dielektrikust silindrikujulisele südamikule, mille diameeter oli 2 cm ja pikkus 8,5 cm. Mõlemast otsast jäeti vaba ruumi 0,5 cm, mille tulemusel saadi mähise

kõrguseks 7,5 cm. Sekundaarmähise traadi läbimõõt on 0,1 cm ja materjaliks vask, mis oli kaetud isoleerlakiga. Mähise keerdude arv on 75, mis leiti valemiga 2.1.

$$n_2 = \frac{h_{2mähis}}{d_{traat}} = \frac{7,5}{0,1} = 75 \text{ keerdu} \quad (2.1)$$

kus, n_2 on sekundaarmähise keerdude arv;

$h_{2mähis}$ – sekundaarmähise kõrgus cm;

d_{traat} – vasktraadi diameeter cm.

Sekundaarmähise peale keriti primaarmähis, mille keerdude arvuks valiti 3 keerdu. Primaarmähise materjaliks oli isoleeritud vasktraat läbimõõduga 0,5 mm. Mähise pikkus on 0,3 cm. Skeemi kuuluvad ka npn-transistor, takisti, LED-diod, mis näitab skeemi töötamist ehk mähiste resonantsi ja toiteallikas – 9 V patarei. Kõikide skeemi kuuluvate elementide andmed on esitatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. Kõrgsageduslikus poolis kasutatud detailide andmed

	Nimetus		Tähis	Väärtus	Mõõtühik
1.	Primaarpool	Keerdude arv	n_1	3	keerdu
		Diameeter	d_1	2,3	cm
		Pikkus	l_1	0,3	cm
		Mähisetraadi diameeter	d_{m1}	0,05	cm
2.	Sekundaarpool	Keerdude arv	n_2	75	keerdu
		Diameeter	d_2	2,2	cm
		Pikkus	l_2	7,5	cm
		Mähisetraadi diameeter	d_{m2}	0,1	cm
3.	Takisti [10]	Takistus	R_r	22	kΩ
		Võimsus	P_r	0,25	W
4.	Patarei Krona [5]	Pinge	U_p	9	V
5.	Transistor (tüüp npn) [16]	Sagedus	f_{tr}	300	MHz
		Pinge	U_{tr}	75	V
		Vool	I_{tr}	0,8	A
		Võimsus	P_{tr}	0,5	W
6.	LED-diod		D	-	-

Selleks, et kõrgsageduslik pool töötama hakkaks, on eelduseks primaar- ja sekundaarmähise sageduste resonants. Mida sarnasemad on sagedused, seda intensiivsem ja kaugemale leviv on pooli ümbritsev elektromagnetväli. Selleks, et saaks läbi viia resonantssageduste arvutusi, mõõdeti mähiste mahtuvused ja induktiivsused, kasutades multimeetrit PeakTech 2010 DMM. Mõõteseadme tehnilised andmed on esitatud lisades. Seade on kujutatud joonisel 2.2.



Joonis 2.2. Multimeeter PeakTech 2010 DMM

Multimeetriga mõõdeti primaarpooli mahtuvuseks $C_1 = 3,0 \mu\text{F}$ ja induktiivsuseks $L_1 = 0,060 \text{ mH}$. Sekundaarpooli tulemused olid vastavalt mahtuvus $C_2 = 6,9 \mu\text{F}$ ja induktiivsus $L_2 = 0,024 \text{ mH}$. Antud mõõtetulemustega saab arvutada mähiste sagedused.

Sageduse leidmiseks kasutatakse valemit 2.2:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}, \quad (2.2)$$

kus f – sagedus Hz;
 L – induktiivsus H;
 C – mahtuvus F.

Valemist 2.2 järeldub, et resonantssageduse tõstmiseks tuleb mähiste mahtuvust ja induktiivsust vähendada.

Primaarmähise resonantssagedus f_1 on leitud järgmiselt:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}} = 11\,869 \text{ Hz}$$

Primaarmähise resonantssageduse määramatus, arvatuna täisdiferentsiaali meetodiga $\Delta f_1 = 221 \text{ Hz}$.

Sekundaarmähise sagedus f_2 on arvatav järgmiselt:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,024 \cdot 10^{-3} \cdot 6,9 \cdot 10^{-6}}} = 12\,374 \text{ Hz}$$

Sekundaarmähise resonantssageduse määramatus, arvatuna täisdiferentsiaali meetodiga $\Delta f_2 = 273 \text{ Hz}$.

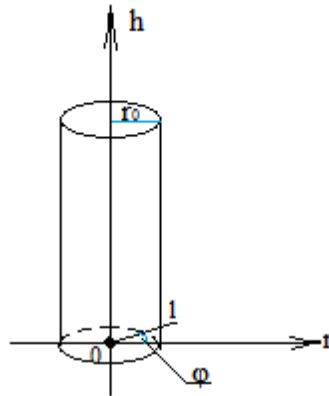
Antud arvutustest on näha, et sageduste erinevus on $(505 \pm 351) \text{ Hz}$. Erinevused võivad tulla mõõteseadme vigadest. Kuid kuna LED-diod süttis, oli sageduste erinevus väike. Tõenäoliselt, kui sageduste erinevust vähendada, leviks kõrgsagedusliku pooli elektromagnetväli kaugemale.

Elektromagnetvälja tugevuse mõõtmise jaoks kasutati F. W. Bell ELF Meter 4060 mõõteseadet, mis on kujutatud joonisel 2.3, seadme tehnilised andmed on esitatud lisades. Antud seadmega mõõdeti elektromagnetvälja pooli ümbruses neljas erinevas ruuminurgas kaugustel $(2 \dots 10) \text{ cm}$.



Joonis 2.3. Magnetvälja mõõteseadet F. W. Bell ELF Meter Model 4060

Mõõtmiste läbiviimist selgitab joonis 2.4, kus on näidatud ruumiliselt, kuidas sekundaarpooli suhtes mõõtmisi teostati. Mõõtmised viidi läbi erinevatel kõrguse h , nurga φ ja kauguse r väärtustel.



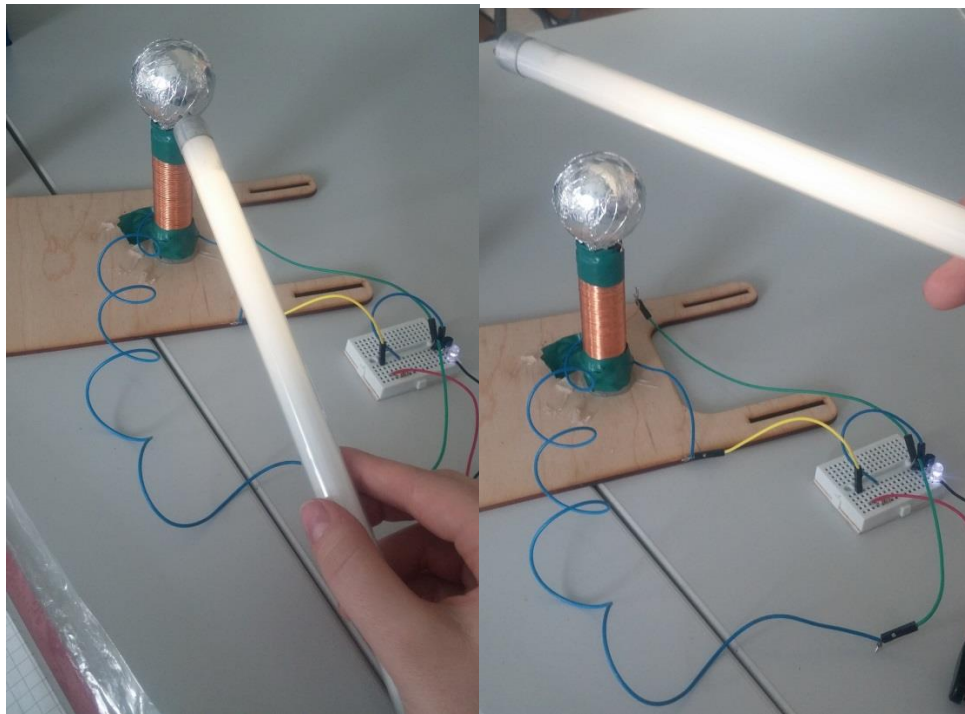
Joonis 2.4. Selgitab mõõtmiste läbiviimist, kus h on kõrgus, r on kaugus, φ on nurk ja r_0 – sekundaarpooli raadius

Katseid rakendus- ja ennistuskaukuse kohta teostati luminofoorlambiga, mis on esitatud joonisel 2.5. Katsetel registreeriti lambi süttimise ja kustumise kaugused erinevatel nurkadel.



Joonis 2.5. Katsetel kasutatav luminofoorlamp ЛБ8-1 1083 Ъ. Lambi pikkus on 30 cm.

Joonisel 2.5 on kujutatud olukorda, kui luminofoorlamp ЛБ8-1 1083 Ъ asetatakse kõrgsagedusliku pooli lähedusse – lamp süttib. Lamp põleb edasi ka ilma kõrgsagedusliku pooliga kontaktis olemata. Sellest võib järeldada, et pooli ehitamine õnnestus, tegemist on kõrgsagedusliku elektromagnetväljaga ning pooli ümbritsev elektromagnetvälja saab rakendada lambi süütamiseks ja põlemas hoidmiseks ilma ühendusjuhtmeteta.

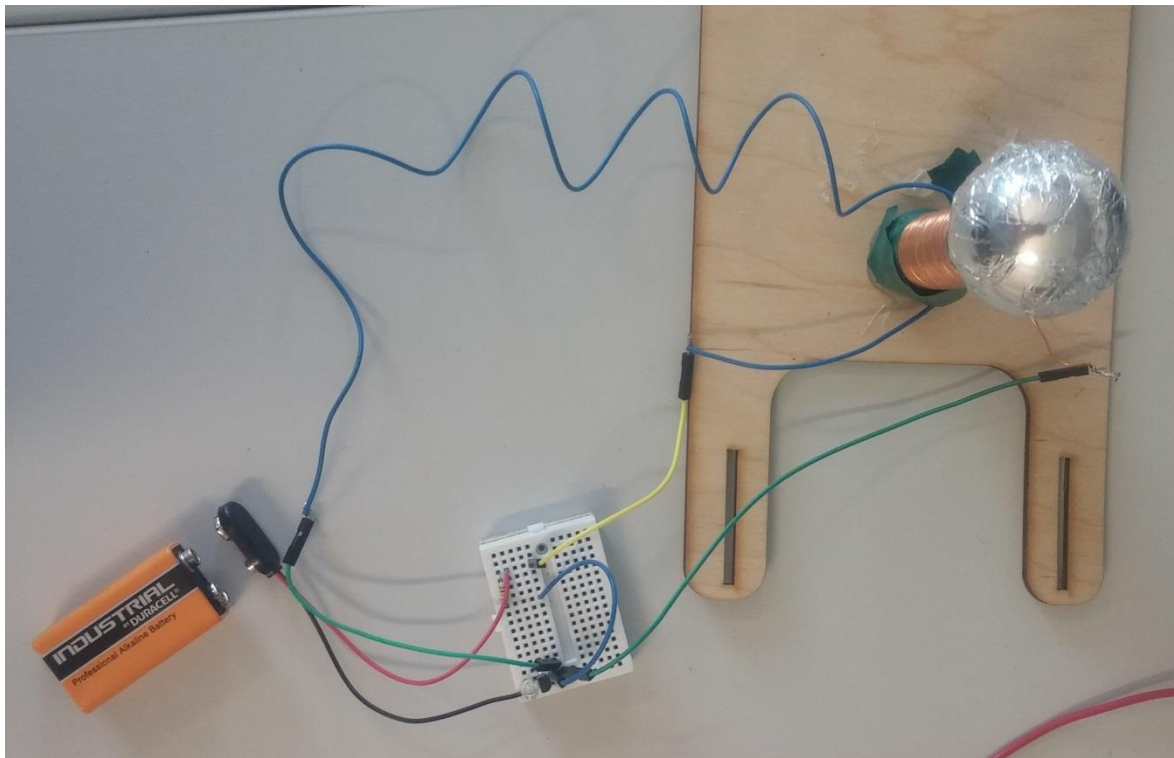


Joonis 2.6. Lamp kõrgsagedusliku pooli läheduses: vasakul on lamp süttimise hetkel, parempoolsel pildil on ilma ühenduseta töötav lamp.

Lähtudes töö käigus kogutud mõõteandmetest, esitati tulemuste peatükis nende vastavad joonised ja järeldused.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Mõõtmiste ajal sai kõrgsageduslik pool oma toite 9 V patareilt. Skeemi ühendatud LED-diodi tuli viitas asjaolule, et poolid on omavahel resonantsis. Katsetel kasutatud luminofoorlamp süttis, kui selle otsaga kõrgsagedusliku pooli *toploadi* puudutati. Lambi süttimine kinnitab kõrgsageduse olemasolu. Joonisel 3.1. on esitatud katseskeemi 2.1. järgi monteeritud kõrgsageduslik pool ehk Tesla transformaator.



Joonis 3.1. Patarei toitega katseseade

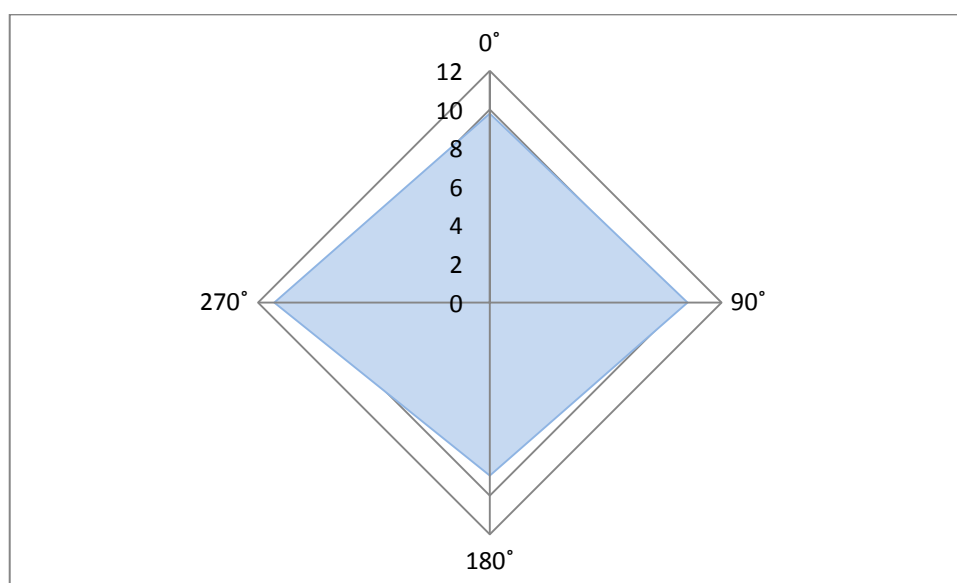
Esimestel mõõtmistel uuriti, kas lamp süttib ja kui kaugelt see kustub. Katse tulemused on esitatud tabelis 3.1. Tabelist on näha, et lamp süttis vaid juhul, kui oli kõrgsagedusliku pooliga kokkupuutes. Ennistuskaugus on pooli külgedel enamjaolt sarnane, kõikudes vahemikus (9,0...11,2) cm, kuid üles poole liikudes kustub lamp väiksemal kaugusel. Antud tulemus võis olla tingitud ka sellest, et lamp oli vertikaalses asendis.

Tabel 3.1. Lambi rakendus- ja ennistuskaugus kõrgsagedusliku pooli eri nurkades.

Jrk nr	Rakenduskaugus (cm)				
	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 180^\circ$	$\varphi = 270^\circ$	<i>topload</i>
1.	KP	KP	KP	KP	KP
	Ennistuskaugus (cm)				
	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 180^\circ$	$\varphi = 270^\circ$	<i>topload</i>
2.	$9,8 \pm 0,4_{95\%}$	$10,3 \pm 0,5_{95\%}$	$9,0 \pm 0,5_{95\%}$	$11,2 \pm 0,2_{95\%}$	$6,6 \pm 0,8_{95\%}$

Märkus. KP on lühend sõnast „kokkupuutel“.

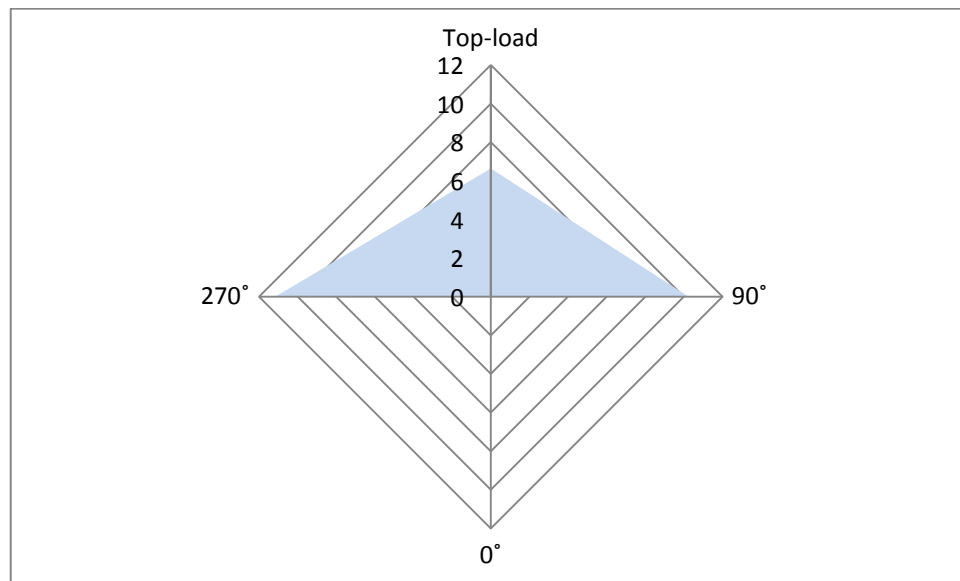
Kuna luminofoorlamp süttis vaid kõrgsagedusliku pooliga kokkupuutel, siis leiti, et seda pole mõtet joonisega väljendada. Ennistuskaugus pealtvaates on joonisel 3.2. näidatud. Tulemused võeti neljas erinevas ruuminurgas, vahega 90° . Lambi ennistumine pooli erinevates nurkades oli ühtlane ehk kõikumised olid väikesed. Järelikult lampi mõjutav elektromagnetväli jaotus pooli ümbruses ühtlaselt.



Joonis 3.2. Luminofoorlambi ennistuskaugus kõrgsagedusliku pooli ümbruses pealtvaates.
Kaugused on sentimeetrites.

Suurem erinevus oli lambi ennistuskauguses juhul, kui mõõtmised toimusid pooli tipus. Joonis 3.3. väljendab olukorda eestvaates.

Jooniselt on näha, et külgedel ennistub lamp kaugemal, kuid ülespoole liikudes on lambi ennistuskauguseks juba ($6,6 \pm 0,8_{95\%}$) cm. Antud nähtust võib seletada lambi tööasend. Kuna töös kasutatud luminofoorlamp oli mõeldud kasutamiseks horisontaalasendis, kuid ülespoole mõõtmistel oli lamp vertikaalselt. Vertikaalne asend põhjustab gaasi jaotumist lahendustorus ebaühtlaselt, mis põhjustab lambi valgusvoo vähenemist ja ebaühtlust. [11]



Joonis 3.3. Luminofoorlambi ennistuskaugus eestvaates. Kaugused on sentimeetrites.

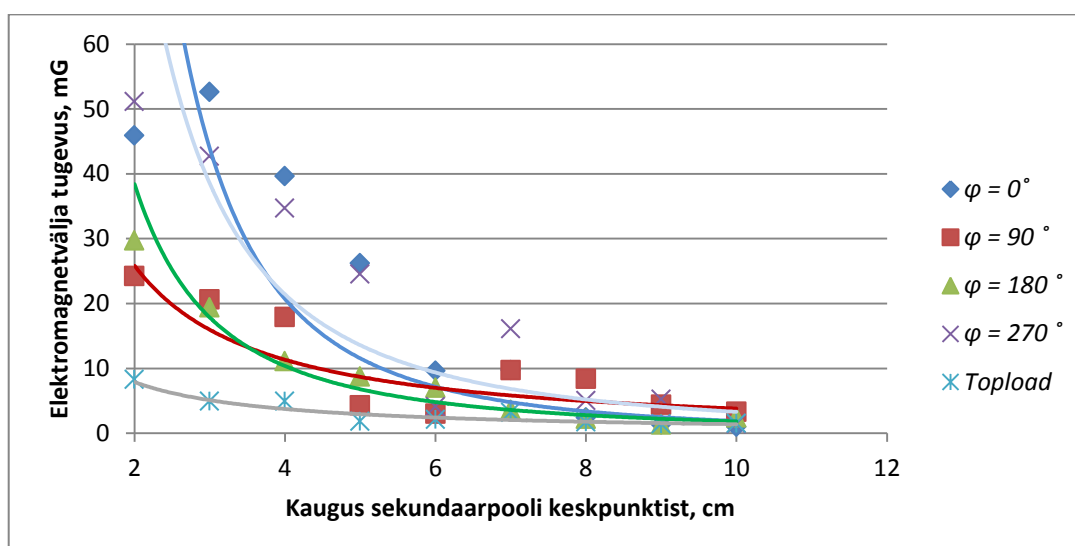
Järgmised mõõtmised tehti magnetvälja mõõteseadmega F. W. Bell ELF Meter Model 4060. Eelnimetatud seadmega mõõdeti pooli ümbritseva elektromagnetvälja tugevust kaugustel (2...10) cm. Mõõteseadme andis tulemused milligaussides.

Tabelis 3.2. on esitatud *toploadi* ümbritseva elektromagnetvälja tugevuse andmed. Katseandmetest on näha, et mida kaugemalt toimus mõõtmine, seda väiksema tugevusega oli elektromagnetväli. Joonisel 3.4 on välja toodud magnetinduktsiooni sõltuvus kaugusest neljal erineval ruuminurga φ väärtusel. Lisaks, on esitatud andmed magnetinduktsiooni sõltuvus kaugusest kõrguse h funktsioonina.

Tabel 3.2. Kõrgsageduslikku pooli *toploadi* ümbritseva elektromagnetvälja tugevuse mõõteandmed kaugusel (2...10) cm, milligaussides.

Katse nr	Kaugus cm	Toploadi ümbritseva magnetvälja tugevus (mG)				
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 180^\circ$	$\varphi = 270^\circ$	Ülal
1.	2	45,9±16,0 _{95%}	24,2±6,0 _{95%}	29,7±10,9 _{95%}	51,1±8,7 _{95%}	8,3±1,7 _{95%}
2.	3	52,6±16,5 _{95%}	20,6±5,9 _{95%}	19,4±3,3 _{95%}	42,7±10,3 _{95%}	4,9±1,6 _{95%}
3.	4	39,6±14,5 _{95%}	17,9±6,6 _{95%}	11,1±2,4 _{95%}	34,7±7,5 _{95%}	4,9±1,5 _{95%}
4.	5	26,2±8,6 _{95%}	4,3±2,7 _{95%}	8,7±1,8 _{95%}	24,5±5,9 _{95%}	1,8±1,4 _{95%}
5.	6	9,6±4,2 _{95%}	3,0±1,5 _{95%}	7,0±2,4 _{95%}	4,1±1,6 _{95%}	2,1±1,9 _{95%}
6.	7	9,7±3,2 _{95%}	9,7±3,0 _{95%}	3,6±1,3 _{95%}	16,1±3,8 _{95%}	3,2±1,8 _{95%}
7.	8	2,4±1,3 _{95%}	8,4±3,0 _{95%}	2,2±1,2 _{95%}	5,0±3,8 _{95%}	1,7±1,3 _{95%}
8.	9	1,3±1,2 _{95%}	4,4±1,3 _{95%}	1,3±1,2 _{95%}	5,2±2,8 _{95%}	1,4±1,3 _{95%}
9.	10	1,0±1,1 _{95%}	3,3±1,5 _{95%}	2,4±1,4 _{95%}	1,4±1,2 _{95%}	1,5±1,4 _{95%}

Jooniselt on näha, et *toploadi* ümbritseva elektromagnetvälja tugevus erinevatel nurga φ väärtustel on kõikuv. Nurkades 0° ja 270° oli elektromagnetvälja tugevus 2 cm kaugusel kõige suurem, üle 45 mG. Mõõtes väljatugevust *toploadi* tipust, on märgatav, et magnetväli on nõrgem. Tulemused võivad tingitud olla sellest, et *toploadi* ümber ei jaotunud elektromagnetväli ühtlaselt, vaid sekundaarpooli ühenduskohas olid välja tugevused suuremad.



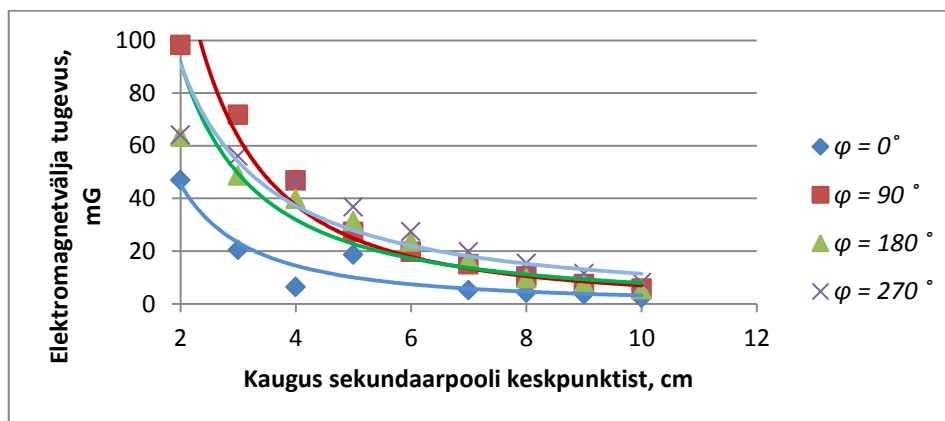
Joonis 3.4. Magnetvälja tugevus *toploadi* ümber erinevatel kaugustel. Elektromagnetvälja tugevus on milli-gaussides

Järgmised kolm katset tehti sekundaarpooli ümber erinevatel kõrguse h väärtustel. Väärtused valiti järgmiselt $h_1 = 1$ cm, $h_2 = 4,5$ cm ja $h_3 = 8,5$ cm. Tabelis 3.3 on välja toodud katseandmed juhul, kui kõrguseks oli 1 cm. Igal katsel selgus, et mida kaugemal katseseadmest tehti mõõtmised, seda väiksem oli elektromagnetvälja tugevus.

Tabel 3.3. Kõrgsageduslikku pooli ümbritseva elektromagnetvälja tugevuse mõõteandmed, kõrgusel $h_1 = 1$ cm, milligaussides.

Jrk nr	Kaugus cm	Sekundaarpooli ümbritseva magnetvälja tugevus (mG)			
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 180^\circ$	$\varphi = 270^\circ$
1.	2	$46,9 \pm 3,1_{95\%}$	$98,2 \pm 3,1_{95\%}$	$63,4 \pm 3,6_{95\%}$	$64,0 \pm 2,4_{95\%}$
2.	3	$20,4 \pm 6,3_{95\%}$	$71,7 \pm 2,3_{95\%}$	$48,6 \pm 2,3_{95\%}$	$56,0 \pm 1,9_{95\%}$
3.	4	$6,3 \pm 3,2_{95\%}$	$46,8 \pm 3,0_{95\%}$	$39,8 \pm 1,7_{95\%}$	$46,4 \pm 2,4_{95\%}$
4.	5	$18,6 \pm 2,2_{95\%}$	$27,2 \pm 1,6_{95\%}$	$31,4 \pm 1,6_{95\%}$	$36,7 \pm 1,7_{95\%}$
5.	6	$20,3 \pm 2,1_{95\%}$	$19,7 \pm 1,5_{95\%}$	$23,6 \pm 2,6_{95\%}$	$27,4 \pm 1,6_{95\%}$
6.	7	$5,1 \pm 1,4_{95\%}$	$15,0 \pm 1,3_{95\%}$	$16,9 \pm 1,5_{95\%}$	$19,7 \pm 1,5_{95\%}$
7.	8	$4,2 \pm 1,2_{95\%}$	$10,4 \pm 1,5_{95\%}$	$9,6 \pm 2,6_{95\%}$	$15,3 \pm 1,4_{95\%}$
8.	9	$3,5 \pm 1,3_{95\%}$	$7,4 \pm 1,3_{95\%}$	$7,9 \pm 1,4_{95\%}$	$11,4 \pm 1,3_{95\%}$
9.	10	$2,2 \pm 1,9_{95\%}$	$5,8 \pm 1,7_{95\%}$	$5,5 \pm 1,3_{95\%}$	$8,1 \pm 1,3_{95\%}$

Jooniselt 3.5 on näha, et maksimaalne magnetvälja tugevus oli kaugusel 2 cm, kui $\varphi = 90^\circ$. Mida suurem on kaugus poolist, seda väiksem on elektromagnetvälja tugevus. Ka antud katse puhul on erinevate nurkade φ väärtuste korral elektromagnetvälja tugevused märkimisväärselt erinevad. Tulemused võivad olla tingitud mõõteriista veast või ebaühtlasest elektromagnetvälja jaotumisest.



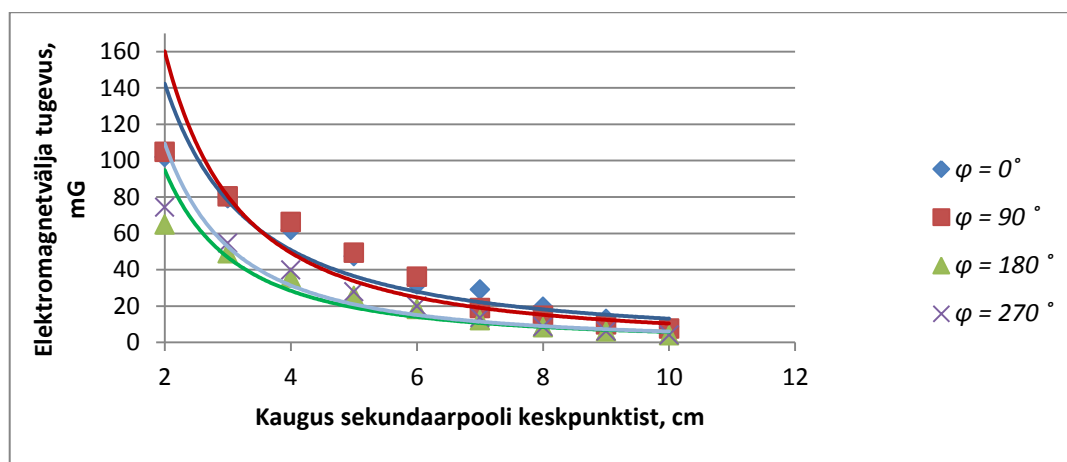
Joonis 3.5. Elektromagnetvälja tugevus ümber sekundaarpooli kõrgusel $h_1 = 1$ cm

Järgmised katsed teostati kõrgusel $h_2 = 4,5$ cm ja katseanded on tabelis 3.4. Antud juhul on samuti märgata asjaolu, et mida kaugemalt mõõdeti, seda väiksem väljatugevus saadi.

Tabel 3.4. Kõrgsageduslikku pooli ümbritseva elektromagnetvälja tugevuse mõõteandmed, kõrgusel $h_2 = 4,5$ cm, milligaussides.

Katse nr	Kaugus cm	Sekundaarpooli ümbritseva magnetvälja tugevus (mG)			
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 180^\circ$	$\varphi = 270^\circ$
1.	2	$101,9 \pm 4,4_{95\%}$	$104,8 \pm 3,4_{95\%}$	$64,7 \pm 2,4_{95\%}$	$74,2 \pm 2,8_{95\%}$
2.	3	$79,2 \pm 4,0_{95\%}$	$80,2 \pm 3,0_{95\%}$	$48,9 \pm 2,0_{95\%}$	$54,6 \pm 1,9_{95\%}$
3.	4	$61,8 \pm 2,1_{95\%}$	$66,2 \pm 2,4_{95\%}$	$35,6 \pm 3,0_{95\%}$	$39,8 \pm 1,6_{95\%}$
4.	5	$47,4 \pm 1,8_{95\%}$	$49,3 \pm 1,9_{95\%}$	$25,6 \pm 1,7_{95\%}$	$27,8 \pm 1,6_{95\%}$
5.	6	$31,9 \pm 1,6_{95\%}$	$36,1 \pm 4,1_{95\%}$	$18,3 \pm 1,4_{95\%}$	$19,9 \pm 1,5_{95\%}$
6.	7	$29,0 \pm 1,6_{95\%}$	$18,9 \pm 1,5_{95\%}$	$12,2 \pm 1,4_{95\%}$	$13,6 \pm 1,4_{95\%}$
7.	8	$19,5 \pm 1,4_{95\%}$	$14,6 \pm 1,4_{95\%}$	$8,3 \pm 1,4_{95\%}$	$8,6 \pm 1,4_{95\%}$
8.	9	$12,8 \pm 1,4_{95\%}$	$9,8 \pm 1,3_{95\%}$	$6,0 \pm 1,5_{95\%}$	$6,1 \pm 1,3_{95\%}$
9.	10	$8,5 \pm 1,4_{95\%}$	$7,5 \pm 1,3_{95\%}$	$3,9 \pm 1,3_{95\%}$	$4,1 \pm 1,2_{95\%}$

Antud katse puhul, mis on kajastatud ka joonisel 3.6, on märgata, et väljatugevuste erinevused pole enam nii drastilised. Nurgad väärtustel $\varphi = 0^\circ$ ja $\varphi = 90^\circ$ ning nurgad $\varphi = 180^\circ$ ja $\varphi = 270^\circ$ on jooniselt vaadatuna ligikaudu kattuvad. Võib järeldada, et kõrgusel $h_2 = 4,5$ cm, hakkab kõrgsagedusliku pooli elektromagnetväli ühtlustuma ja pole nii muutlik, kui *toploadi* ümbruses ja kõrgusel $h_1 = 1$ cm

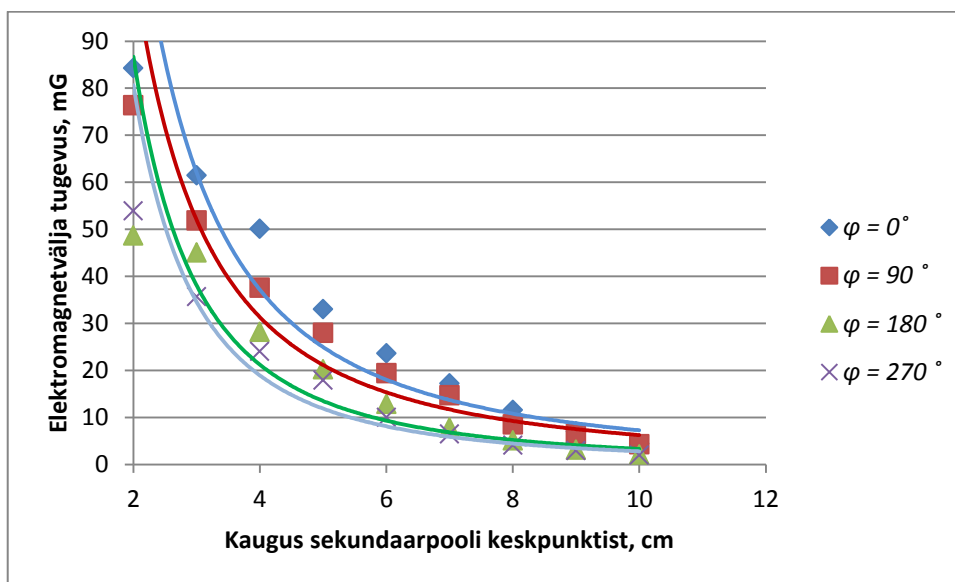


Joonis 3.6. Elektromagnetvälja tugevus ümber sekundaarpooli kõrgusel $h_1=4,5$ cm

Viimane katse tehti kõrgusel $h_3 = 8,5$ cm (tabel 3.5). Antud katseandmetest on märgata, nagu ka eelmise puhul, et elektromagnetväli väheneb sujuvamalt ja erinevate nurkade φ korral pole samuti mõõtetulemuste erinevus samuti hüplikult erinevad.

Tabel 3.5. Kõrgsageduslikku pooli ümbritseva elektromagnetvälja tugevuse mõõteandmed, kõrgusel $h_3 = 8,5$ cm, milligaussides.

Jrk nr	Kaugus cm	Sekundaarpooli ümbritseva magnetvälja tugevus (mG)			
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 180^\circ$	$\varphi = 270^\circ$
1.	2	$84,3 \pm 2,7_{95\%}$	$76,4 \pm 5,6_{95\%}$	$48,7 \pm 2,4_{95\%}$	$53,9 \pm 2,1_{95\%}$
2.	3	$61,5 \pm 2,6_{95\%}$	$51,9 \pm 2,1_{95\%}$	$45,1 \pm 1,8_{95\%}$	$35,7 \pm 1,8_{95\%}$
3.	4	$50,1 \pm 3,1_{95\%}$	$37,6 \pm 2,1_{95\%}$	$28,2 \pm 1,8_{95\%}$	$24,0 \pm 1,4_{95\%}$
4.	5	$33,0 \pm 1,5_{95\%}$	$28,0 \pm 2,2_{95\%}$	$20,2 \pm 1,6_{95\%}$	$17,9 \pm 1,4_{95\%}$
5.	6	$23,6 \pm 1,5_{95\%}$	$19,4 \pm 1,5_{95\%}$	$12,9 \pm 1,3_{95\%}$	$10,0 \pm 1,6_{95\%}$
6.	7	$17,2 \pm 1,5_{95\%}$	$14,7 \pm 1,4_{95\%}$	$7,8 \pm 1,4_{95\%}$	$6,5 \pm 1,3_{95\%}$
7.	8	$11,6 \pm 1,3_{95\%}$	$8,5 \pm 1,5_{95\%}$	$5,1 \pm 1,2_{95\%}$	$4,1 \pm 1,2_{95\%}$
8.	9	$7,0 \pm 1,2_{95\%}$	$6,5 \pm 1,5_{95\%}$	$3,1 \pm 1,2_{95\%}$	$2,9 \pm 1,2_{95\%}$
9.	10	$4,4 \pm 1,3_{95\%}$	$4,3 \pm 1,3_{95\%}$	$2,1 \pm 1,2_{95\%}$	$2,0 \pm 1,2_{95\%}$



Joonis 3.7. Magnetvälja jagunemine ümber kõrgsagedusliku pooli kõrgusel $h_3 = 8,5$ cm, suurused on milli-gaussides

Välja kestval toimel, ehk 24 tunni vältel, on tavalisikul maksimaalselt lubatavaks väljatugevuseks 5 kV/m, mis vastab magnetinduksioonile 168 mG. [8] Vaadates tabelleid

3.2...3.5 on märgata, et kõrgsagedusliku poolist 2 cm kaugusel oli maksimaalseks elektromagnetvälja tugevuseks $104,8 \pm 3,4_{95\%}$. Mida kaugemalt mõõtmisi teostati, seda väiksemaks läks elektromagnetvälja tugevus. Mõnel juhul lähenesid tulemused isegi foonile ehk nende täpsuses ja asjakohasuses võib kahelda. Mõõtetulemustest järeldub, et ehitatud kõrgsageduslik pool ei tekita tavaisiku tervisele kahjulikku elektromagnetvälja.

Kuna antud töös ei suudetud ehitada kõrgsageduslikku pooli, mille sekundaar- ja primaarmähis oleksid samal resonantssagedustel, siis edasi uurides võiks leida mooduseid kuidas sellist olukorda saavutada. Kui on saavutatud resonantssagedus, siis tuleks läbi viia uued mõõtmised, et kindlaks teha kuidas mõjutab resonantssagedus elektromagnetvälja tugevust – kas see väheneb, suureneb või ei muutu. Samuti tuleks teha katseid luminofoorlambiga ja katsetada, kas lamp süttib ilma kokkupuuteta ning kas ennistumiskaugus suureneb. Kui luminofoorlamp ei sütti resonantssagedusel ilma kokkupuuteta, siis järgmistes uurimustöodes peaks käsitlema, millest see tingitud on ning kuidas saaks seda olukorda lahendada.

Kui eelnevalt loetletud uurimusküsimustele on leitud lahendus, siis tuleks uurida, kas elektromagnetvälja tugevust oleks võimalik reguleerida selliselt, et inimene ise saab valida kauguse, milleni kõrgsagedusliku pooli mõjuala ulatub. Kui katsetused on edukalt tehtud ning seade töötab nagu vaja, siis lõpp-lahenduseks oleks vaja disainida seadmele esinduslikum ja kompaktsem välimus.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö raames monteeriti kõrgsageduslik pool ehk Tesla transformaator, mille omaduseks on elektromagnetvälja tekitamine ning sisendsuuruste muundamine kõrgetele sagedustele. Kõrgete sageduste tõttu võimaldab Tesla transformaator käivitada selle läheduses olevaid seadmeid. Antud töös uuriti, kas kõrgsagedusliku pooliga on võimalik käivitada luminofoorlampi.

Peale katseseadme edukat valmimist mõõdeti, kui kaugelt luminofoorlamp kustub. Lamp süttis vaid kõrgsagedusliku pooliga kokkupuutes olles, mis võis olla tingitud sellest, et primaar- ja sekundaarmähiste resonantssagedustes olid erinevused. Kui suudetakse mähiseid ühesele resonantssagedusele reguleerida, on tõenäosus, et elektromagnetväli levib kaugemale, sagedused muutuvad kõrgemaks ning luminofoorlamp süttib hõlpsamalt ja ennistub kaugemalt.

Töö käigus mõõdeti kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja tugevust kuni 10 cm kauguselt. Võrreldes mõõtetulemusi lubatud elektromagnetvälja tugevustega selgus, et ehitatud katseseade ei ole inimese tervisele ohtu tekitav. Eelnimetatud teadmine annab soodsa võimaluse katseseadet edasi uurida ja arendada, et tulevikus oleks võimalik kasutada elektriseadmeid ilma ühendusjuhtmeteta.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Lahtmets, R.** (2002). Elektrotehnika I. Alalisvool. Tallinn: Paar. 72 lk.
2. **Lahtmets, R.** (2002). Elektrotehnika II. Vahelduvvool. Tallinn: Paar. 68 lk.
3. Multimeetri PeakTech 2010 DMM andmete väljavõte. http://amc-magazin.ro/PRODUCE-DOC/Peak-Tech/2010_1.pdf (9.05.2017)
4. **Neumann, L., Kalantarov, P.** (1964). Elektrotehnika teoreetilised alused: Esimene osa. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus. 284 lk.
5. Patarei Krona, 6LR61 9V Duracell Plus Power – *Oomipood*.
https://www.oomipood.ee/product/mn1604_drcl_1tk_patarei_krona_6lr61_9v_duracell_plus_power?q=patarei%209V (16.11.2016)
6. **Pedusaar, H.** (1967). Elektro- ja raadiotehnika. Tallinn: Valgus. 495 lk.
7. **Popov, V., Nikolajev, S.** (1970). Elektrotehnika. Tallinn: Valgus. 644 lk.
8. **Pütsep, R.** (2008). Elektrotehnika ja elektroonika. Tallinn: Ilo. 256 lk.
9. **Risthein, E.** (2013). Energiatehnika ja maailm. Tallinn: TTÜ kirjastus. 440 lk.
10. Takisti 22K. – *Oomipood*. https://www.oomipood.ee/product-/1_4w_22k_22k_1_4w?q=22k (16.11.2016).
11. **Tamm, T.** (2009). Valgustehnika I. Tallinn: TTÜ kirjastus. 112 lk.
12. **Tereštšuk, R. M., Dombrugov, R.M., Bossõi, N.D., Nogin, S.I., Tšaplinski, A.B.** (1972). Raadioamatööri käsiraamat. Tallinn: Valgus. 736 lk.
13. *Tesla Coil Desing, Construction and Operation Guide.* (2016)
http://www.teslacoildesign.com/operation.html#-operation_safety (20.05.2017).
14. *Tesla Coil safety information.* (Täiendatud 04.08.1996) – *Classic Tesla*.
<http://www.classictesla.com/safety.html> (26.05.2017).
15. *The Tesla Coil.* (2012). http://www.hazardousphysics.com/main/zeus/-The_Zeus_Tesla_Coil_1.html (20.05.2017).
16. Transistor 2N2222A – *Oomipood*.
https://www.oomipood.ee/product/2n2222a_pl_2n2222a_si_n_75v_0_8a_0_5w_to92_ksp2222abu?q=2N2222A (16.11.2017)
17. Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded elektromagnetväljadest mõjutatud töökeskkonnale, elektromagnetväljadega kokkupuute piirnormid ja rakendusväärtused ning elektromagnetväljade mõõtmise kord. (vastu võetud 01.04.2016). – *Riigiteataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/107042016004> (26.05.2017).
18. **Vardja, D., Vannas, E.** (1952). Noor elektrik. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus. 236 lk.
19. **Voldek, A.** (1972). Elektrimasinad I. Alalisvoolumasinad ja transformatorid. Tallinn: Valgus. 339 lk.
20. **Võrk, R., Mägi, V.** (1989). Elektrotehnika. Tallinn: Valgus. 392 lk.

SUMMARY

The aim of this research is to construct a high-frequency coil known as Tesla coil. The main function of high-frequency coil is to make an electro-magnetic field and to transform input voltage and current to higher frequency, up to (5...400) kHz.

An electro-magnetic field caused by Tesla coil, can make other devices work without any wires. Due to this research there were experiments conducted with fluorescent lamp, to see if this field can be powerful enough to light the lamp. During the experiment it was clearly that the constructed high-frequency coil works properly and could light up a fluorescent lamp.

There were also experiments for electro-magnetic field measurements to determine if this device is harmless to people. The research shows that the numbers of electro-magnetic field strength is far below than required with law. This shows that the high-frequency coil, constructed as in this research, can be used widely.

In the future there must be experiments how to make this coil more efficient, also how to adjust primary and secondary coils to work in resonant frequency. If this will be done, the high-frequency coil may be used as casual household apparatus.

LISAD

Lisa 1. Mõõteseadme PeakTech 2010DMM andmete väljavõte



Digital-Multimeter, 3 1/2-digit

Steady performance digital-multimeter, which provides an overload protection and the functions of measuring like DCV, ACV, DCA, ACA, resistance, capacitance, frequency, diode, continuity test with buzzer and temperature; ideal for the education- and service-fields.

- ▶ 28 mm, 3 1/2-dgt. LCD display with backlight, max. 2000
- ▶ manual range selection, low battery indication
- ▶ hFE-Test, Peak-Hold
- ▶ with 200 mA automatic circuit breaker
- ▶ Auto power off
- ▶ Safety: IEC-1010-1; CAT II 1000 V
- ▶ 200 mA automatic circuit breaker
- ▶ Accessories: holster, carrying case, test leads, typ-K- thermocouple probe, battery and manual

DCV	200 mV/2/20/200/1000 V; 100 μ V; $\pm 0,5$ % + 3 dgt.
ACV	200 mV/2/20/200/750 V; 100 μ V; $\pm 0,8$ % + 5 dgt. Freq.-range: 40 ... 400 Hz
DCA	2/20/200 mA/20 A; 1 μ A; $\pm 0,8$ % + 3 dgt.
ACA	2/20/200 mA/20 A; 1 μ A; $\pm 1,0$ % + 5 dgt. Freq.-range: 40 ... 200 Hz
Ohm	200 Ω /2/20/200 k Ω /2/20/2000 M Ω ; 0,1 Ω ; $\pm 0,8$ % + 3 dgt.
Cap.	20/200 nF/2/20/200 μ F; 10 pF; $\pm 2,5$ % + 20 dgt.
Induct.	2/20/200 mH/2/20 H; 1 μ H; $\pm 2,5$ % + 20 dgt.
Freq.	2/20/200/2000 kHz/10 MHz; 1 Hz; $\pm 0,5$ % + 4 dgt.
Temp.	-40 ... +1000°C; 1°C; $\pm 1,0$ % + 4 dgt.
Operation Voltage	9 V-battery
Dimensions (WxHxD)	100 x 190 x 35 mm
Weight	400 g

Lisa 2. Mõõteseadme F. W. Bell ELF Meter Model 4060 andmete väljavõte



Specifications:

Accuracy: $\pm 1\%$ (Typical)

Resolution: 1 mG/ 10 mG

Operating/Storage temperature range:

14 °F to 122 °F (-10 °C to +50 °C)

Size: 6,1 cm wide x 9,65 cm long x 2,54 cm thick

Battery life: (Carbon/Zinc) 230 hours, continuous

Weight: 126g with battery

Warm-up time: 5 seconds

Joonis 2.1. Mõõteseadme F. W. Bell
ELF Meter Model 4060

Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Mari Neissaar
sünniaeg 13.11.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
„Kõrgsagedusliku pooli elektromagnetvälja uurimine“,

mille juhendaja on Riho Kägo

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)